

審査の結果の要旨

氏 名 向 俊光

本論文は「Development of Multi-Filter Soft X-ray Imaging Diagnostic for High-Energy Electron Study of Magnetic Reconnection (磁気リコネクションの高エネルギー電子の検証のためのマルチフィルターの軟X線イメージング計測の開発)」と題し、宇宙プラズマから核融合プラズマに共通する磁気リコネクション現象の生じる高エネルギー電子の計測のための、軟X線の2次元画像を最大16枚、マイクロ秒間隔で同時計測できるシステムの開発を進め、まず2枚の同時計測に成功した。このシステムを用いて、リコネクション下流域、およびリコネクション点付近に発生するX線を捉えることができた。

第1章は、「Introduction」であり、研究の背景となった核融合エネルギー開発の歴史やその主流のトカマクプラズマやその経済性を高めた球状トカマク(ST), さらに今回、研究対象とした宇宙プラズマから核融合プラズマに共通する磁力線のつながりかわり現象、即ち磁気リコネクションの基礎物理を解説している。

第2章は、「Magnetic Reconnection」と題し、磁気リコネクション現象の物理について説明している。磁気拡散に比較して異常に早い磁気リコネクションを説明するSweet-Parkerモデル、さらにスローショックを導入したPetschekモデル、最近の無衝突リコネクションの粒子シミュレーションや実験による最新解釈、そこに現れる高エネルギー電子について述べられている。

第3章は、「Magnetic Reconnection Research in TS-6 Merging Experiments」と題し、東京大学TS-3, TS-4, UTST球状トーラス合体実験、さらに本研究に用いたTS-6球状トカマク合体実験について説明した後、磁気リコネクションを引き起こす球状トカマクの合体運転の詳細、2次元磁気プローブ列による2次元磁気計測、2次元イオンドップラートモグラフィシステムを用いた2次元イオン温度分布計測について解説している。

第4章は、「Soft X-ray Tomographic Diagnostic in TS-6 Merging Experiments」と題し、磁気リコネクションの生じる高エネルギー電子の計測を目的とした2次元軟X線ステレオカメラの開発について述べている。従来、X線カメラはあってもミリ秒あたり1画面程度の計測に限られ、速いリコネクションには不向きであったため、高速度カメラと16分岐光ファイバーを組み合わせることによ

って、最短、マイクロ秒毎に最大 16 のカメラ画像を 8 コマずつ撮影できるシステムを考え、最初に 2 つのカメラ画像で各々マイクロ秒毎、8 コマの撮影を実現した。また、2 次元画面の各々の点について視線積分された軟 X 線が観測されるので、それを高精度で逆変換する再構成ソフトの開発を行い、10% 程度の精度での再構成を実現した。

第 5 章 は、「**Electron Acceleration in Magnetic Reconnection**」と題し、球状トカマクプラズマ合体によって駆動される磁気リコネクションが如何なる電子加熱や高エネルギー電子を生じるかについて、開発した軟 X 線ステレオカメラを駆使して検証している。2 個球状トカマクの合体によって磁気リコネクションが駆動されると、電子はリコネクション下流に加速されて、つなぎ変わった磁力線にぶつかり、加熱されるとともに、高エネルギー電子が発生し、それは再結合磁場への依存性が高いことがわかった。また、リコネクション点に局在化した軟 X 線の発生も見られ、パワーは少ないものの、ベータatronタイプの電子加速効果を確認し、こちらはガイド磁場への依存性が高いことが判明した。

第 6 章 は、「**Summary and Conclusions**」で成果を整理し、まとめている。

以上要するに、本研究は、高ガイド磁場下の磁気リコネクションの電子加熱・加速効果の検証を目的に、高速度カメラ、16 分岐ファイバー束、マイクロチャンネルプレートを組み合わせて、まずステレオ (2 画像)、最大 16 画像をマイクロ秒の時間間隔で X 線画像の撮影を可能にするシステムの開発に成功し、再結合磁場に依存するリコネクション下流の広い領域の電子加速・加熱、および、ガイド磁場に依存するリコネクション点付近の局所的な電子加速・加熱を捉えることができた。宇宙プラズマから核融合プラズマに共通する磁気リコネクションの電子加速・加熱物理を解明する成果といえ、プラズマ理工学、太陽物理、磁気圏物理、電気系工学への貢献が少なくない。よって本論文は博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。